

Docket No.: 57454-237

10/5/01
Price
1/25/02
PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

J1011 U.S. PRO
09/955309
09/19/01



In re Application of :
Takayoshi OZAKI, et al. :
Serial No.: Group Art Unit:
Filed: September 19, 2001 Examiner:
For: STRUCTURE OF REFLUX FAN FOR EXCIMER LASER APPARATUS

CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

~ In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2000-283486, filed September 19, 2000
Japanese Patent Application No. 2000-283487, filed September 19, 2000
Japanese Patent Application No. 2000-283488, filed September 19, 2000
Japanese Patent Application No. 2000-318819, filed October 19, 2000

cited in the Declaration of the present application. Certified copies is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Stephen A. Becker
Registration No. 26,527

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 SAB:prp
Date: September 19, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

57454-237
OZAKI et al.
September 19, 01

日本国特許庁 *McDermott, Will & Emery*
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application: 2000年 9月19日

出願番号 Application Number: 特願 2000-283486

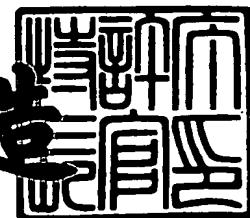
出願人
Applicant(s): エヌティエヌ株式会社

09/19/01
95530/69
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1901

2001年 8月 3日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕



出証番号 出証特2001-3069768

【書類名】 特許願
【整理番号】 1001328
【提出日】 平成12年 9月19日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 F04D 29/04
【発明者】
【住所又は居所】 静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社内
【氏名】 尾崎 孝美
【発明者】
【住所又は居所】 静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社内
【氏名】 矢田 雄司
【特許出願人】
【識別番号】 000102692
【住所又は居所】 大阪市西区京町堀1丁目3番17号
【氏名又は名称】 エヌティエヌ株式会社
【代理人】
【識別番号】 100064746
【弁理士】
【氏名又は名称】 深見 久郎
【選任した代理人】
【識別番号】 100085132
【弁理士】
【氏名又は名称】 森田 俊雄
【選任した代理人】
【識別番号】 100091395
【弁理士】
【氏名又は名称】 吉田 博由

【選任した代理人】

【識別番号】 100091409

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 英彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファンがとりつけられた回転軸と、前記回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、前記制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、前記回転軸を回転させるためのモータを備え、前記モータの駆動によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、

前記制御型磁気軸受は、

軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、

1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、

前記アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、前記永久磁石は前記回転軸の他方端面に対向して配置され、

前記ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石は前記アキシャル電磁石の近傍に配置され、他方のラジアル電磁石は前記回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする、エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項2】 その軸方向のほぼ中央部にファンがとりつけられた回転軸と、前記回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、前記制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、前記回転軸を回転させるためのモータを備え、前記モータの駆動によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、

前記制御型磁気軸受は、

軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、

1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル

磁気軸受とを含み、

前記アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、前記永久磁石は前記回転軸の他方端面に対向して配置され、

前記モータは前記アキシャル電磁石に近接して配置され、

前記ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石は前記モータと前記ファンとの間に配置され、他方のラジアル電磁石は前記回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする、エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項3】 前記保護軸受は、

前記回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、前記アキシャル電磁石と前記モータの近傍に配置される第1の保護軸受と、

前記回転軸のラジアル方向のみを支持し、前記他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第2の保護軸受とを含むことを特徴とする、請求項1または2に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項4】 さらに、前記モータと前記ファンとの間に配置される第3の保護軸受を含むことを特徴とする、請求項1または2に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項5】 前記回転軸の前記ラジアル電磁石と前記アキシャル電磁石と前記永久電磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、

前記アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は前記回転軸に固着され、

前記軟質磁性材料を除き、前記回転軸は前記アキシャル電磁石側から前記永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、前記アキシャル電磁石および前記第1の保護軸受または前記第1の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料、ステータおよび前記ファンを前記回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で前記回転軸を前記チャンバおよびハウジング外部に取り外すことができることを特徴とする、請求項1または3に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項6】 さらに、前記モータに近接するラジアル磁気軸受のラジアル電磁石を制御するために、P I D制御と並列に回転数またはモータ電流値によってゲイン調整を変化させる比例要素を含む制御回路を備えた、請求項1から5のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項7】 前記ラジアル電磁石は円周方向に複数極の磁極を有し、各磁極ごとにコイルが巻回されており、近接する2つの磁極が対となって前記回転軸間の電磁石で電磁力を発生し、

前記対となる磁極に巻回されたコイルには異なる制御出力に基づいて電流が流れることを特徴とする、請求項1から6のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項8】 前記制御出力は、近接する回転軸の位置センサ出力をP I D演算によって出力されたものと、P D制御によって演算されて出力されたものとを含むことを特徴とする、請求項7に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項9】 前記回転軸の回転数またはモータ電流に応じて、前記P I D制御のパラメータを変更することを特徴とする、請求項8に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項10】 前記磁気軸受の制御はソフトウェア処理によることを特徴とする、請求項1から9のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項11】 前記モータは、渦電流モータであることを特徴とする、請求項1から10のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項12】 前記アキシャル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、

前記軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする、請求項1から11のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項13】 前記回転センサによって得られた回転数に応じて、前記一方のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする、請求項1

2に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明はエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造に関し、特に、当該ファンにおける回転軸を支持しつつ回転させる構造に関する。

【0002】

【従来の技術】

エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンには、低振動特性および耐久性が要求され、これに対応するために、貫流ファンに使用する軸受には非接触支持でメンテナンスフリーが実現できる磁気軸受が検討されている。

【0003】

たとえば、特開平11-087810号公報や特開平11-303793号公報には、磁気軸受の採用例が示されている。これらの公報には、2個のラジアル磁気軸受と2個のアキシャル電磁石からなるアキシャル磁気軸受によって回転軸を非接触で支持し、かつ回転軸に固着したモータロータをステータ側のモータステータによって回転駆動させる構成が示されている。

【0004】

図11はエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の基本構成を示す断面図である。図11において、ファン203はチャンバ201内に配置され、チャンバ201内にはレーザガスが封入されている。チャンバ201内で回転軸202に取付けられたファン203が回転する。回転軸202を支持する磁気軸受は、チャンバ201の両側に配置され、図11の左側には、それぞれラジアル電磁石204と位置センサ205とで構成されるラジアル磁気軸受206と、アキシャル電磁石207、208と位置センサ209で構成されるアキシャル磁気軸受210と、モータロータ218およびモータステータ217で構成されるモータ211と、回転軸202を保護するためにラジアル方向およびアキシャル方向を支持できるタッチダウン軸受としての保護軸受212が配置されている。

【0005】

図11の右側には、ラジアル電磁石213および位置センサ214で構成されるラジアル磁気軸受215と、ラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受216とが設けられている。

【0006】

ここで、保護軸受212とモータステータ217とラジアル電磁石204の内径はほぼ同軸となるように調整されている。保護軸受212の内径とその対向する回転軸202との隙間は、モータステータ217とラジアル電磁石204の各内径とその対向する回転軸202との隙間の最小寸法よりも僅かに小さく設定され、回転軸202とラジアル電磁石204、モータステータ217との接触を防いでいる。

【0007】

アキシャル磁気軸受210およびラジアル磁気軸受206、215はそれぞれ位置センサ209、205および214によって回転軸202の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算した信号を、図示しない制御回路で位相補償し、パワーアンプで電流増幅して対応する電磁石のコイルに電流が流される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

図11に示したエキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンにおいて、貫流させるガスの圧力が最大5000hPaと高い結果、この高出力下でファン203を回転させるために、その回転軸202を駆動させるモータ211の出力を高くする必要がある。ところが、モータ出力が高いために、モータ211を構成しているモータロータ218とモータステータ217間の吸引力が強くなってしまう。これは、単純にモータロータ218を内蔵する回転軸202に対する外乱が増加するだけでなく、回転軸202を支持するラジアル磁気軸受206の制御安定性にも影響を及ぼす。

【0009】

ラジアル磁気軸受の支持は、モータ211の影響しない非回転時とモータの影響が大きい最高回転時の両状態において安定して制御する必要がある。さらに、

貫流されるガス圧力も最大5000hPa以下のすべての圧力領域で回転させることが必要となり、磁気軸受制御の安定性の確保が困難であった。

【0010】

図12はラジアル磁気軸受部付近の構造を示し、図13は図12のラジアル磁気軸受に基づくモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図を示す。

【0011】

図12において、所望のラジアル磁気軸受電磁石204と回転軸202との間の距離を X_0 とし、この距離 X_0 からの変位 x を測定し、その測定値に基づいてラジアル磁気軸受電磁石204の吸引力を調整することで、回転軸202の浮上位置が制御される。ここで、ラジアル磁気軸受206の近傍にはモータ211が配置され、このモータ211によってラジアル磁気軸受206の制御に影響が出る。

【0012】

図13において、 $P(s)$ はモータ211を考慮しない磁気軸受単独の制御対象を表わし、 $G(s)$ は磁気軸受制御回路の伝達関数を示す、 x は回転軸の所定の浮上距離 X_0 位置からの変位を示している。回転軸の変位 x を検出する位置センサの出力 x' と指令値 R とを比較演算した後、比例、積分および微分要素からなる制御回路で構成される磁気軸受制御回路 $G(s)$ で演算された電磁力 F_a が回転軸202に作用し、回転軸202を所定の位置に支持する。ここで、 k_m はモータ211の持つ負のばね定数である。

【0013】

図12において、回転軸202が下方に移動すれば、下方のモータステータ217からの吸引力 F_m が増加し、見かけ上負のばね定数となる。 k_m の値はモータ211の出力が増加する点すなわちモータロータ218とモータステータ217との間の吸引力が増加するに従って大きな値となる。すなわち、磁気軸受の制御は、この k_m を考慮した設計が必要となるが、この k_m は大きく変動する（回転駆動を停止している状態ではこの k_m は0となる）ため、すべての状態で磁気軸受支持の安定性を確保することが難しくなる。

【0014】

図14はモータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象（図13ではF_aからxまでの伝達関数）のボード線図のゲイン曲線を示す。図14において、実線aはモータ非回転時のゲイン曲線であり、実線bはモータ駆動時のゲイン曲線を示す。モータ駆動時のそのゲイン曲線は低周波数域で低下していることがわかる。これらの、低周波数域でのゲインの低下や、低周波数域の広い領域でゲイン曲線に平坦な特性（ゲインの周波数勾配がほぼ0）を持つために、磁気軸受の制御性は悪くなる。

【0015】

図15は磁気軸受の制御対象をもとに、両状態（モータ駆動時と非駆動時）で安定性を確保する磁気軸受制御回路を設計した場合の開ループ伝達関数を示す図である。

【0016】

図15において、(a)はゲイン特性であり、(b)は位相特性であり、実線cはモータ非駆動時で、実線dはモータ駆動時の開ループ伝達関数である。モータ211を駆動することで図14(a)に示すゲイン余裕はAからA'に減少し、制御の安定性についての余裕が大幅に減少することがわかる。これに対する対抗策としては、クロスオーバ周波数を高周波側に設定し、モータの影響を抑制する方法もあるが、エキシマレーザ装置では、レーザ発振のために高電圧によって放電させ、レーザガスを励起させる。このため、エキシマレーザ装置に使用する磁気軸受では、この高周波ノイズに影響されないようにするために、極力磁気軸受の制御ゲインを下げる必要がある。また、使用するファン203は軸方向に長く、回転軸202自体が長くなる結果、回転軸202の曲げモード固有振動数が低下するという問題もあり、これを安定して制御するためにも磁気軸受制御系のゲインを下げる必要がある。これらの理由により、高周波域のゲインを上げることになるクロスオーバ周波数を高周波側に設定するといった手法はとることができない。

【0017】

このように、エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンは、貫流させ

るガス圧力が最大5000hPaであるように高く、この高出力側でファン203を回すためにその回転軸202を駆動させるモータ211の出力は高くなる結果、負のばね定数であるkmが大きくなること、さらに高周波ノイズ発生源が近傍にあること、さらに回転軸202が長くなるために磁気軸受制御の制御安定性の確保が難しくなるというエキシマレーザ装置固有の問題があった。

【0018】

また、回転軸202が長尺のために、回転軸202の曲げ固有振動数が低くなり、磁気軸受の制御性が悪いこと、さらに回転軸202が曲がりやすいといった問題もある。

【0019】

それゆえに、この発明の主たる目的は、モータ駆動時も磁気軸受のゲインを上げずに安定した磁気軸受制御が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】

この発明は、ファンがとりつけられた回転軸と、回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、制御型磁気軸受が回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、回転軸を回転させるためのモータを備え、モータの回転によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、制御型磁気軸受は、軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、永久磁石は回転軸の他方端面に対向して配置され、ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石はアキシャル電磁石の近傍に配置され、他方のラジアル電磁石は回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする。

【0021】

その結果、モータ側のラジアル磁気軸受によってモータのもつ負のばね要素を

補正することにより、モータ駆動時に磁気軸受ゲインを上げることなく安定した磁気軸受制御が可能となる。

【0022】

他の発明は、その軸方向のほぼ中央部にファンがとりつけられた回転軸と、回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、制御型磁気軸受が回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、回転軸を回転させるためのモータを備え、モータの回転によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、制御型磁気軸受は、軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、アキシャル電磁石は回転軸の一方端面に対向して配置され、永久磁石は回転軸の他方端面に対向して配置され、モータはアキシャル電磁石に近接して配置され、ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石はモータとファンとの間に配置され、他方のラジアル電磁石は回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする。

【0023】

また、保護軸受は、回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、アキシャル電磁石とモータの近傍に配置される第1の保護軸受と、回転軸のラジアル方向のみを支持し、他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第2の保護軸受とを含むことを特徴とする。

【0024】

さらに、モータとファンとの間に配置される第3の保護軸受を含むことを特徴とする。

【0025】

また、回転軸のラジアル電磁石とアキシャル電磁石と永久磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は回転軸に固着され、軟質磁性材料を除き、回転軸はアキシャル電磁石側から永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、アキ

シャル電磁石および第1の保護軸受または第1の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料およびファンを回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で回転軸をチャンバおよびハウジング外部に取り外すことができる特徴とする。

【0026】

さらに、モータに近接するラジアル磁気軸受のラジアル電磁石を制御するために、P I D制御と並列に回転数またはモータ電流値によってゲイン調整を変化させる比例要素を含む制御回路を備えた特徴とする。

【0027】

また、ラジアル電磁石は円周方向に複数極の磁極を有し、各磁極ごとにコイルが巻回されており、近接する2つの磁極が対となって回転軸間の電磁石で電磁力を発生し、対となる磁極に巻回されたコイルには異なる制御出力に基づいて電流が流されることを特徴とする。

【0028】

また、制御出力は、近接する回転軸の位置センサ出力をP I D演算によって出力されたものと、P D制御によって演算されて出力されたものとを含む特徴とする。

【0029】

また、回転軸の回転数またはモータ電流に応じて、P I D制御のパラメータを変更することを特徴とする。

【0030】

また、磁気軸受の制御はソフトウェア処理による特徴とする。

さらに、モータは、渦電流モータであることを特徴とする。

【0031】

さらに、アキシャル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする。

【0032】

さらに、回転センサによって得られた回転数に応じて、一方のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする。

【0033】

【発明の実施の形態】

図1はこの発明の一実施形態の縦断面図である。この図1は、エキシマガスを循環させるファン3およびその周辺部を示している。チャンバ1内にはレーザガスが封入されており、このチャンバ1内で回転軸2に取付けられたファン3が回転する。回転軸2を支持する磁気軸受はチャンバ1の両側に配置され、図1において左側にはラジアル電磁石4と位置センサ6とで構成されるラジアル磁気軸受101と、アキシャル磁気軸受の一部であるアキシャル電磁石8と位置センサ9と、モータステータ10およびモータロータ17で構成されるモータ104と、回転軸を保護するために配置され、ラジアル方向およびアキシャル方向を支持する保護軸受11とが配置されている。図1において右側には、ラジアル電磁石12と位置センサ13で構成される1個のラジアル軸受103と、アキシャル磁気軸受の一部であるステータ側の永久磁石14と回転軸2側の磁性体で構成した吸引機構およびラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受15とが設けられている。

【0034】

図11に示した従来例では、アキシャル磁気軸受210として2個のアキシャル電磁石207, 208を用いていたのに対して、この実施形態ではアキシャル磁気軸受制御に永久磁石14の吸引力とアキシャル電磁石8との吸引力の釣り合いを利用し、1個のアキシャル電磁石を減らすことで、装置を小型化でき、さらにアキシャル電磁石コイルを駆動するためのパワー回路も不要とし、コストダウンを図ることができる。

【0035】

ここで、保護軸受11とモータステータ10とラジアル電磁石4はほぼ同軸となるように調整される。保護軸受11の内径とその対向する回転軸2との隙間は、モータステータ10とラジアル電磁石4の各内径とその対向する回転軸2との隙間の最小寸法よりも僅かに小さく設定され、回転軸2とモータステータ10お

より各電磁石部材との接触を防いでいる。

【0036】

同様に、保護軸受15はラジアル電磁石12の内径とほぼ同軸となるように調整される。保護軸受15の内径とその対向する回転軸との隙間は、ラジアル電磁石12の内径とその対向する回転軸との隙間よりも僅かに小さく設定され、回転軸2と各電磁石部材との接触を防いでいる。

【0037】

図2はこの発明の他の実施形態を示す縦断面図である。図2において、ラジアル磁気軸受部101をモータ104とファン3との間に配置したものであり、それ以外の構成は図1と同じである。この図2に示した実施形態では、回転軸2の長さを短くできる利点がある。

【0038】

図1および図2に示した実施形態では、保護軸受11と15を2箇所に配置しているが、回転軸2が長く、長尺である場合にはその中間部にさらに第3の保護軸受16を配置してもよい。

【0039】

図3はそのような実施形態を示す断面図である。

図1～図3に示した各実施形態において、各磁気軸受部は位置センサによって回転軸の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算し、その信号を制御回路で位相補償し、パワーアンプで電流増幅して該当する電磁石のコイルに電流が流される。ラジアル磁気軸受101と103に使用する制御回路は、比例、微分要素によって構成され、さらに積分要素を含むことによって、指令値と偏差の小さい定位置制御を行ない、回転軸2を支持する。モータ104の持つ負のばね要素に対する補償は、モータ104の近傍にあるラジアル磁気軸受101で行なわれる。

【0040】

このモータ101の持つ負のばね要素に対する補償のために、以下の方法が用いられる。すなわち、ラジアル磁気軸受101の制御回路で、比例要素、微分要素および積分要素で構成されるメインの位相補償回路と並列に置かれるモータ補

償回路を設け、その回路を比例要素で構成することにより、比例要素のゲインをモータの回転数もしくはモータ電流に応じて変化させる。以下具体的に説明する。

【0041】

図4はラジアル磁気軸受とモータを含む回転軸の制御系ブロック図である。

次に、図4を参照して、ラジアル磁気軸受101の制御回路内のモータ補償回路の効果について説明する。図4では簡略化のために、センサアンプは省略している。図4において $P(s)$ はモータの影響を受けない場合のラジアル磁気軸受101の制御対象を示し、 $G_1(s)$ はラジアル磁気軸受101の制御回路を示し、 $G_2(s)$ はモータ補償回路を示し、 k_m はモータによる負のばね定数を示し、 r_1 はラジアル磁気軸受101の指令値を表わす。

【0042】

$G_1(s)$ は比例要素、積分要素および微分要素で構成される。磁気軸受の制御対象 $P(s)$ は $1/(Ms^2 - k)$ で表わされる。ここで、磁気軸受も負のばね要素を持ち、 k がこの負のばね定数に相当する。よって、モータの影響および $G_2(s)$ の影響を考慮した制御対象は、すなわち F_a から x までの伝達関数は次式で示される。

【0043】

$$P_1(s) = 1/(Ms^2 - k - k_m + G_2(s))$$

そこでモータ補償回路の特性 $G_2(s) = k_m$ に設定できれば、磁気軸受制御へのモータによる影響は全くなくなり、安定した制御が得られる。

【0044】

ここで、モータの影響である k_m がモータロータ17とモータステータ10との間の吸引力によって変化する。すなわち、モータ104のばね要素 k_m はモータ回転数やモータ負荷およびモータ電流によって変化する。図1では、回転軸端部に回転センサ21が設けられており、この回転センサ21は磁気式センサで構成され、対向する回転軸面に切欠22を形成することによって、回転軸の回転数を測定できる。この測定した回転数によってラジアル磁気軸受101のモータ補償回路の伝達関数 $G_2(s)$ を変更することにより、常に最適な制御を行なうこ

とができる。

【0045】

一般に、回転数が高くなるに従ってモータ104の負のばね定数 k_m が大きくなるため、 $G_2(s)$ の比例ゲインは大きくする方がよい。また、モータ電流値も大きくなるに従ってモータ104の負のばね定数が増加する。モニタしたモータ104の電流値によってラジアル磁気軸受101のモータ補償回路の伝達関数 $G_2(s)$ を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。いずれも伝達関数 $G_2(s)$ の変更は、回転数もしくはモータ電流値によって連続的に変更してもよく、数段階に変更する方法であってもよい。

【0046】

このように、回転数やモータ電流値によって制御を変更するためには、その制御手段としてCPUやDSPを利用したソフトウェア制御を使用した方がよい。

【0047】

次に、第2の方法として、ラジアル磁気軸受101のラジアル電磁石4のコイルに2種類のコイルを巻き、第1のコイルに電流を流す制御回路には比例要素、微分要素および積分要素で構成し、第2のコイルにはモータ補償回路を用い、その回路を比例要素で構成し、この比例要素のゲインをモータ104の回転数もしくはモータ電流に応じて変化させる方法について説明する。

【0048】

図5はラジアル磁気軸受の電磁石の断面図であり、図6は制御回路のブロック図である。

【0049】

図5に示した電磁石は、円周方向に8極の磁極40を持ち、近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させる。このように、ラジアル電磁石4は2つの磁極40, 40およびコイル41, 42でセットになっている。この対になるコイル41, 42に流す各電流を、異なる制御回路によって調整することで、モータの影響を補正できる。図5の第1のコイル41を駆動する制御回路を図6に示す $G_1(s)$ とし、第2のコイル42を駆動する制御回路 $G_2(s)$ とする。 $G_1(s)$ を比例要素、微分要素および積分要素で構成することで、指令値に対

し偏差の小さい定位置制御を行ない、回転軸2を支持する。

【0050】

一方、G2(s)は、比例要素と微分要素で構成し、モータの負のばね要素を補償するだけでなく、ラジアル磁気軸受101の制御性を向上させる。図6では簡単化のためにセンサアンプが省略されている。

【0051】

次に、図7～図10はラジアル磁気軸受101の制御対象のボード線図を示しており、G2(s)の効果について説明する。図6に示したP(s)はモータの影響を受けない場合の第1のコイル41から見た制御対象を示し、G1(s)は第1のコイル41の制御回路を示し、G2(s)は第2のコイル42の制御回路を示し、kmはモータによる負のばね定数を示し、rはラジアル磁気軸受101の指令値を表わす。

【0052】

G1(s)は比例要素、積分要素および微分要素で構成される。第1のコイル41から見た制御対象P(s)は $1/(Ms^2 - k)$ で表わされる。Mは制御対象の質量を表しており、sはラプラス演算子を表している。ここで、磁気軸受にも負のばね要素を持ち、kがこの負のばね定数に相当する。よって、モータ104の影響を考慮した制御対象、すなわちFaからxまでの伝達関数は $P_1(s) = 1/(Ms^2 - k - km + G2(s))$ となる。ここで、G2(s)を比例要素で構成した場合のFaからxまでの伝達関数（ゲイン曲線のみ）を図7に示す。

【0053】

図7において、実線aはモータの影響はなく（km=0）、G2(s)=0の場合の伝達関数を（ $P_1(s) = 1/(Ms^2 - k)$ ）を示し、実線bはモータの影響を含み、G2(s)=0の場合の伝達関数（ $P_1(s) = 1/(Ms^2 - k - km)$ ）を示し、実線cはモータの影響を含みさらにG2(s)=(k+km)の場合の伝達関数（ $P_1(s) = 1/Ms^2$ ）を示し、実線dはモータの影響を含みさらにG2(s)=ky, 0<ky<(k+km)の場合の伝達関数（ $P_1(s) = 1/(Ms^2 - k - km + ky)$ ）を示し、実線eはモータの影響

を含みさらに $G_2(s) = k_e$, $k_e > (k + k_m)$ の場合の伝達関数 ($P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + k_e)$) を示す。

【0054】

図7から第2のコイル用制御回路の伝達関数 $G_2(s)$ を比例要素のみで構成した場合、その比例要素のゲインが0以上 ($k + k_m$) 以下にある場合、制御対象 $P_1(s)$ の低周波数域のゲインをアップさせることができる。一方、その比例要素のゲインを ($k + k_m$) 以上にした場合には、制御対象 $P_1(s)$ にピーク (図7におけるA) を発生させて磁気軸受制御性を損なう可能性がある。

【0055】

このように、 $G_2(s)$ を比例要素のみで構成し、かつその比例要素のゲインが0以上、 ($k + k_m$) 以下にすることで、制御対象 $P_1(s)$ の低周波数域のゲインをアップさせることができる結果、磁気軸受の安定性を向上させることができる。

【0056】

図8は $G_2(s)$ を微分要素のみで構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す図であり、 (a) はゲイン特性を示し、 (b) は位相特性を示す。図8において、実線aはモータの影響を含み、 $G_2(s) = 0$ の場合の伝達関数 ($P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m)$) を示す。モータの影響を含みさらに $G_2(s) = cs$ で、それぞれcの値を大きくした場合の伝達関数 ($P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs - k - k_m)$) 特性を実線b, c, d, eに示す。ここで、cを微分ゲインと称する。

【0057】

図8から明らかなように、cが大きくなるほど、制御対象 $P_1(s)$ の低周波数域でのゲイン平坦部の勾配は大きくなり、さらに位相も進相特性を示すようになる。すなわち、 $G_2(s)$ を微分要素で構成することで、 (a) に示す低周波数域のゲイン曲線を改善できると同時に、 (b) に示すように位相も進むために、ラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上することができる。

【0058】

図9および図10は、 $G_2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合

の F_a から x までの伝達関数を示し、それぞれ (a), (b) はゲイン特性と位相特性を示す。

【0059】

図9では、実線aは比較のために微分要素を含まない場合を示し、モータの影響を含みさらに $G_2(s) = (k + km)$ の場合の伝達関数 $(P_1(s) = 1 / (Ms^2 + km))$ である。実線bはモータの影響を含みさらに $G_2(s) = (cs + k + km)$ の場合の伝達関数 $(P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs + km))$ である。

【0060】

この微分要素を入れることで、(a)に示すように低周波側のゲイン曲線の勾配は小さくなるが、(b)に示すように低周波数域の位相を進めることができる。すなわち、ラジアル磁気軸受の制御回路を比例要素と微分要素とで構成することで、低周波数域のゲイン曲線を改善できると同時に、位相も進むために、第1のコイル41と制御回路 $G_1(s)$ によるラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上できる。

【0061】

さらに、図10は、実線aがモータの影響を含みさらに $G_2(s) = ke$, $ke > (k + km)$ の場合の伝達関数 $(P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - km + ke))$ で、実線bはモータの影響を含みさらに $G_2(s) = cs + ke$, $ke > (k + km)$ の場合の伝達関数 $(P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs - km - km + ke))$ を示す。

【0062】

実線aではそのゲイン曲線に極大を持つが、微分要素を入れることにより、その特性は改善されると同時に、位相も進めることができる。すなわち、 $G_2(s)$ を、磁気軸受のもつ負のばね定数とモータのもつ負のばね定数を加算した値以上の比例定数 ke で構成した条件においても、微分要素を追加することで、そのゲイン曲線に現われるピークを抑制でき、さらに進相特性を得ることができ、ラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上できる。

【0063】

ここで、これまでモータのばね要素が一定として扱ってきたが、実際にはモー

タ回転数やモータ電流によって変化する。図1では回転軸端に回転センサ21を設けており、この回転センサ21は磁気センサで構成され、対向する回転軸面に切欠22を設けたことによって、回転軸の回転数を測定できる。この測定した回転数によってG2(s)を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。一般に、回転数が高くなるに従ってモータの負のばね定数k_mが大きくなるため、G2(s)の比例ゲインは大きくする方がよい。また、モータ電流値も大きくなるに従ってモータの負のばね定数は増加する。モニタしたモータの電流値によってG2(s)を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。いずれも伝達関数G2(s)の変更は回転数もしくはモータ電流値によって連続的に変更してもよく、数段階に変更する方法であってもよい。

【0064】

このように、回転数やモータ電流値によって制御を変更するためには、その制御手段としてC P UやD S Pを利用したソフトウェア制御を使用することができる。

【0065】

また、これまで2つの磁極で構成される各電磁石内で各コイルに流す各電流を異なる制御回路によって調整し、モータの影響を補正した例について説明したが、ラジアル電磁石のうち、各隣接する2つの磁極対およびコイルで構成される4つの各磁石ごとにその制御回路を変えてよい。

【0066】

エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンは長尺であり、その質量も大きい。このため、回転軸2の着脱のためにハウジング30をチャンバ1から取外すことは困難であり、ハウジング30を取外すことなく、回転軸2の着脱が可能となるように図1、図2および図3に示した実施形態では盛り込まれている。

【0067】

すなわち、アキシャル電磁石8に対向する回転軸2には軟質磁性部材51がボルトによって回転軸2に締結されており、この軟質磁性部材51を除き、回転軸2はアキシャル電磁石8側から永久磁石14側に向けて、その直径は等しいかもしくは小さくされている。そして、アキシャル電磁石8および第1の保護軸受1

1もしくは第1の保護軸受11を固定している保護軸受用ハウジング50をハウジング30から外し、さらにファン3を回転軸2から外すことで、回転軸2をチャンバ1からハウジング30を外さない状態でチャンバ1およびハウジング30の外部に取出すことができる。

【0068】

さらに、図1および図2に示した実施形態では、チャンバ1内の腐食性レーザガスによる磁気軸受やモータのダメージについての対策については盛り込んでいないが、特開平11-087810号公報で示されているように、回転軸2のまわりをキャンで覆うことで、腐食性レーザガスに対する保護を行なうようにしてもよい。

【0069】

さらに、上述の説明では、モータの影響を補償する方法について説明したが、モータロータ17とモータステータ10との間の吸引力が発生しない渦電流モータを用い、モータの影響自体をなくすようにしてもよい。

【0070】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0071】

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、回転軸の両側に2個のラジアル磁気軸受を配置し、モータ側のラジアル磁気軸受によってモータのもつ負のね要素を補正するようにしたので、モータ駆動時に磁気軸受ゲインを上げることなく安定した磁気軸受制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図2】 この発明の他の実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦

断面図である。

【図3】 この発明のさらに他の実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図4】 ラジアル磁気軸受とモータを含む回転軸の制御系ブロック図である。

【図5】 ラジアル磁気軸受の電磁石断面図である。

【図6】 ラジアル磁気軸受の制御に関するブロック図である。

【図7】 $G_2(s)$ を比例要素で構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す図である。

【図8】 $G_2(s)$ を微分要素のみで構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す図である。

【図9】 $G_2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す図である。

【図10】 $G_2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す図である。

【図11】 従来のエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の基本構成を示す図である。

【図12】 ラジアル磁気軸受部付近の構造を示す断面図である。

【図13】 従来のモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図である。

【図14】 モータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象のボード線図のゲイン曲線を示す図である。

【図15】 磁気軸受制御回路の開ループ伝達関数を示す図である。

【符号の説明】

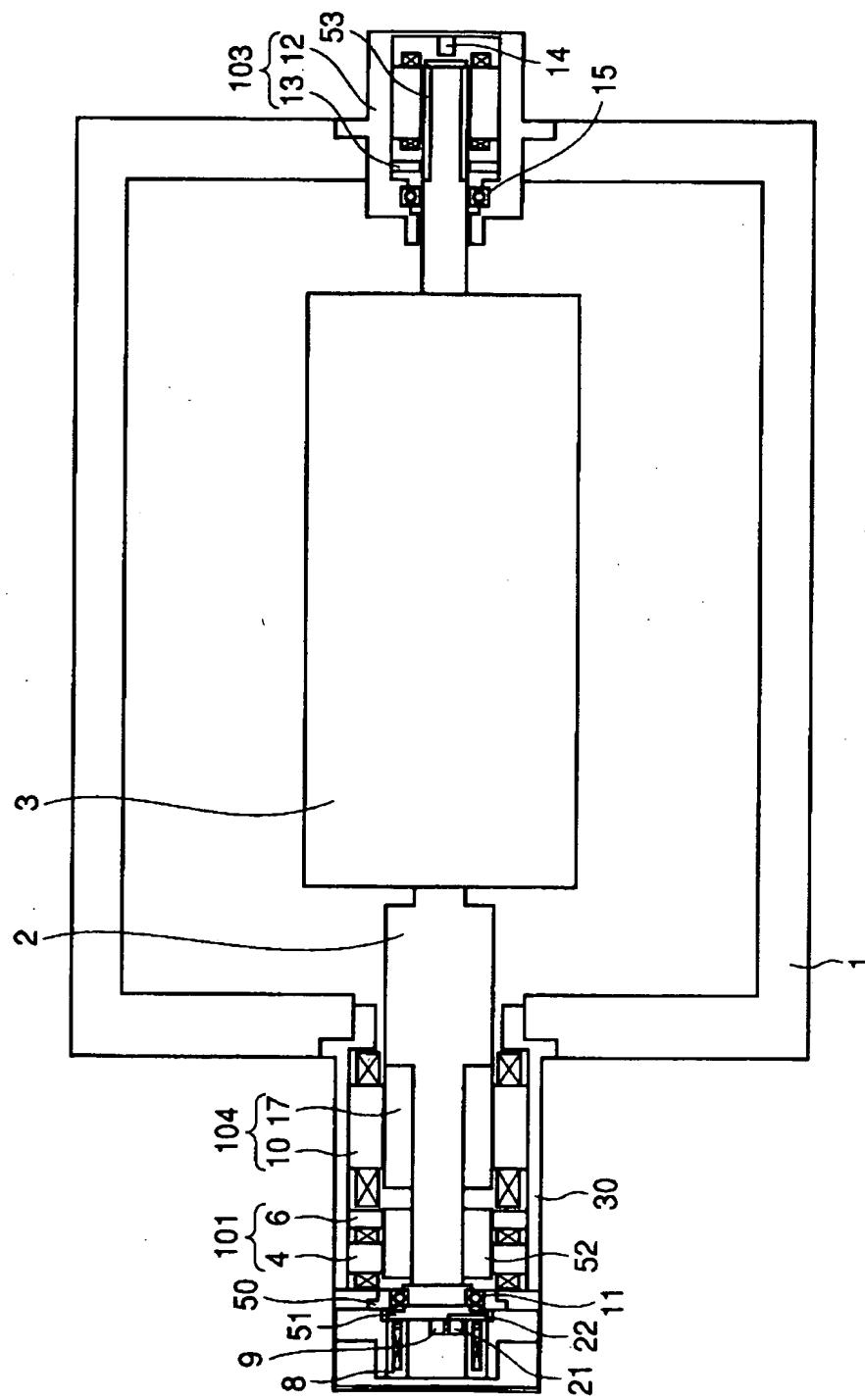
1 チャンバ、2 回転軸、3 ファン、4, 12 ラジアル電磁石、6, 9, 13 位置センサ、8 アキシャル電磁石、10 モータステータ、14 永久磁石、11, 15, 16 保護軸受、17 モータロータ、21 回転センサ、22 切欠、30 ハウジング、40 磁極、50 保護軸受用ハウジング、51, 52, 53 軟質磁性部材、101, 103 ラジアル磁気軸受、104

特2000-283486

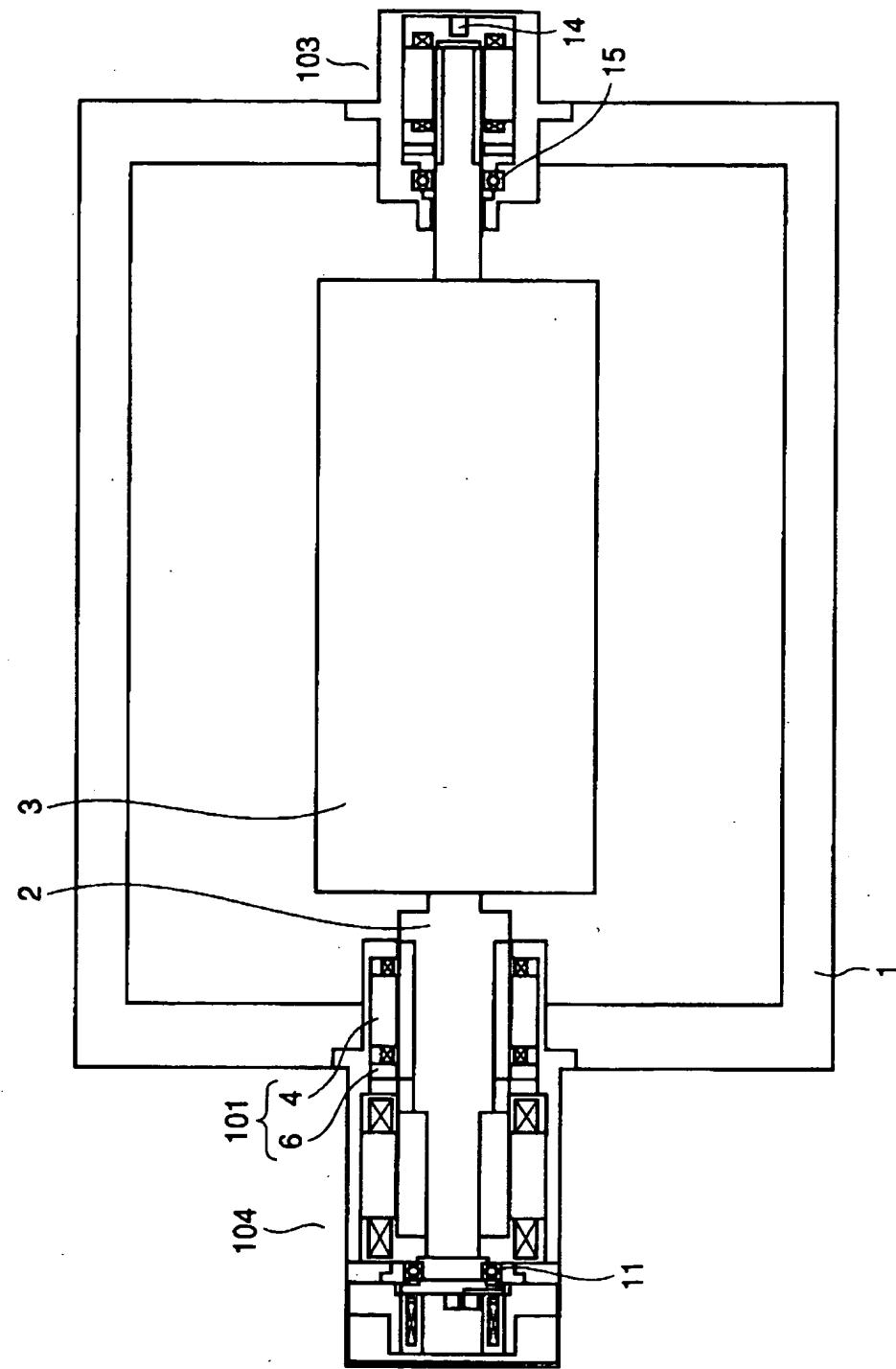
モータ。

【書類名】 図面

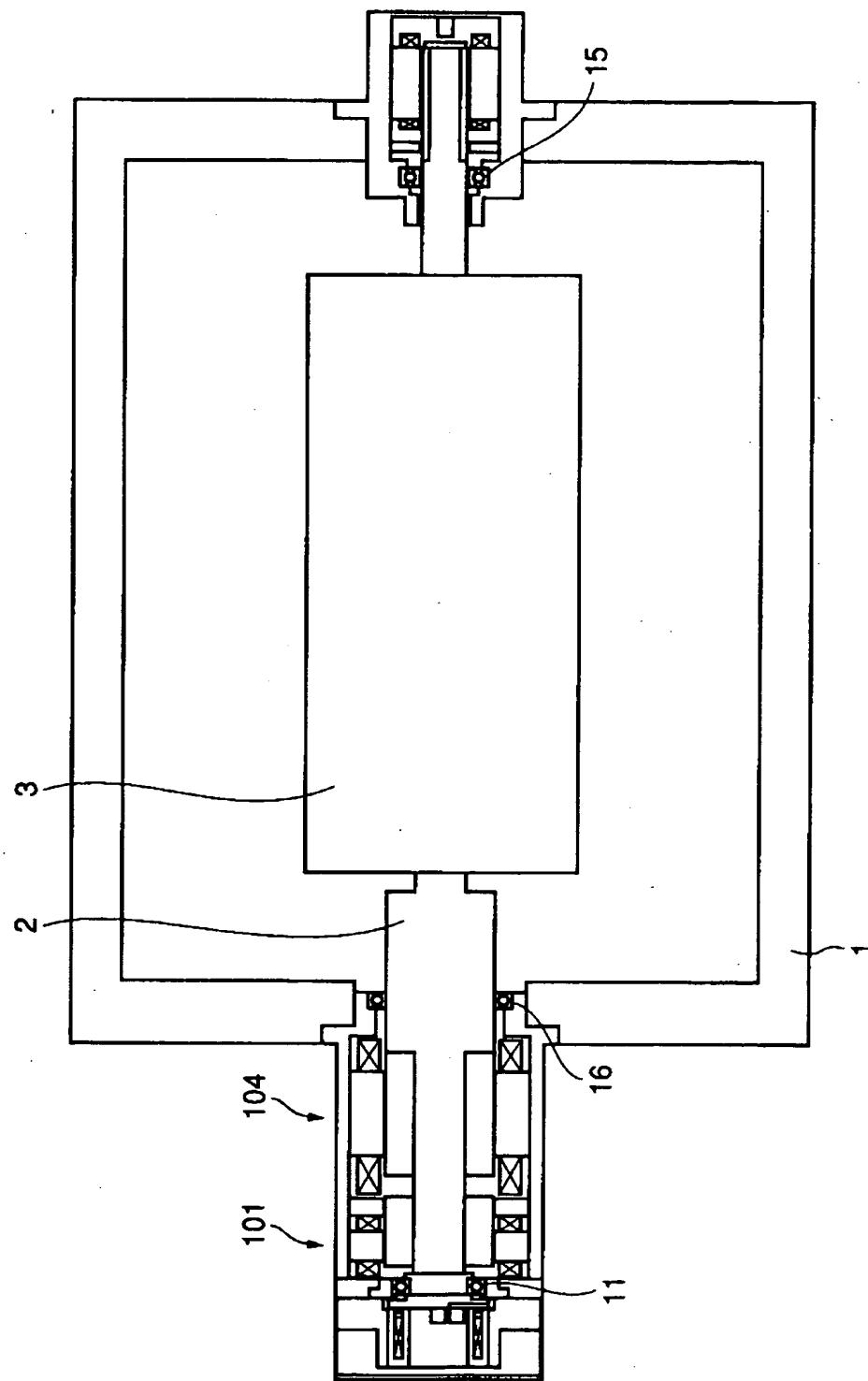
【図1】



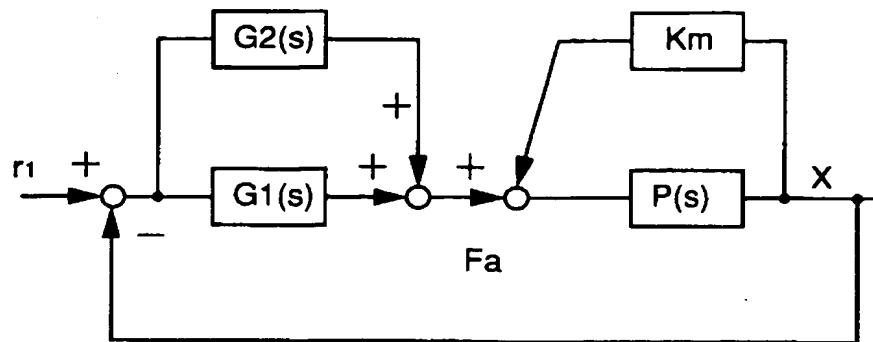
【図2】



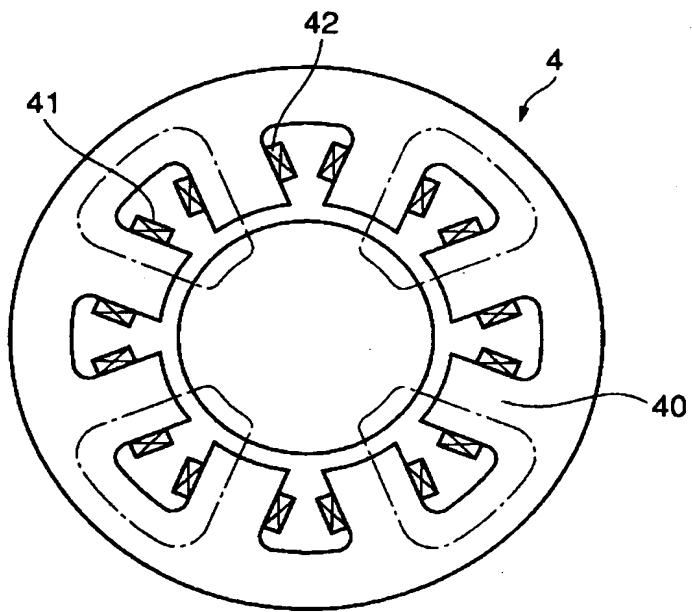
【図3】



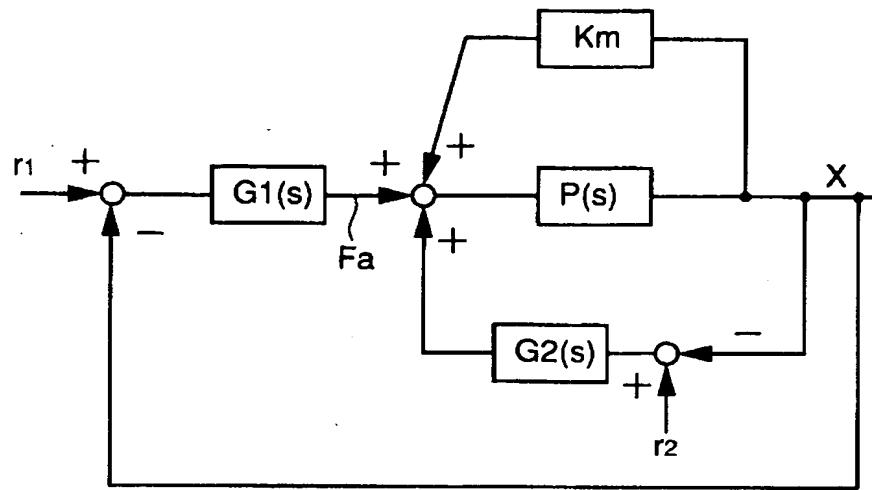
【図4】



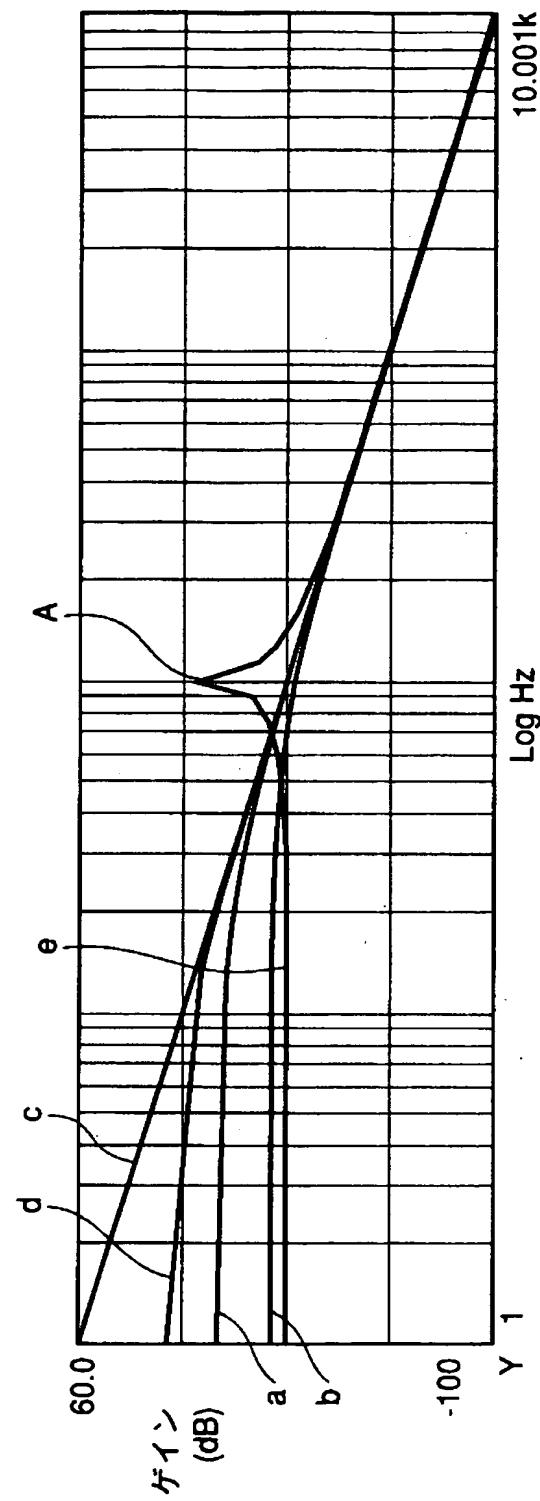
【図5】



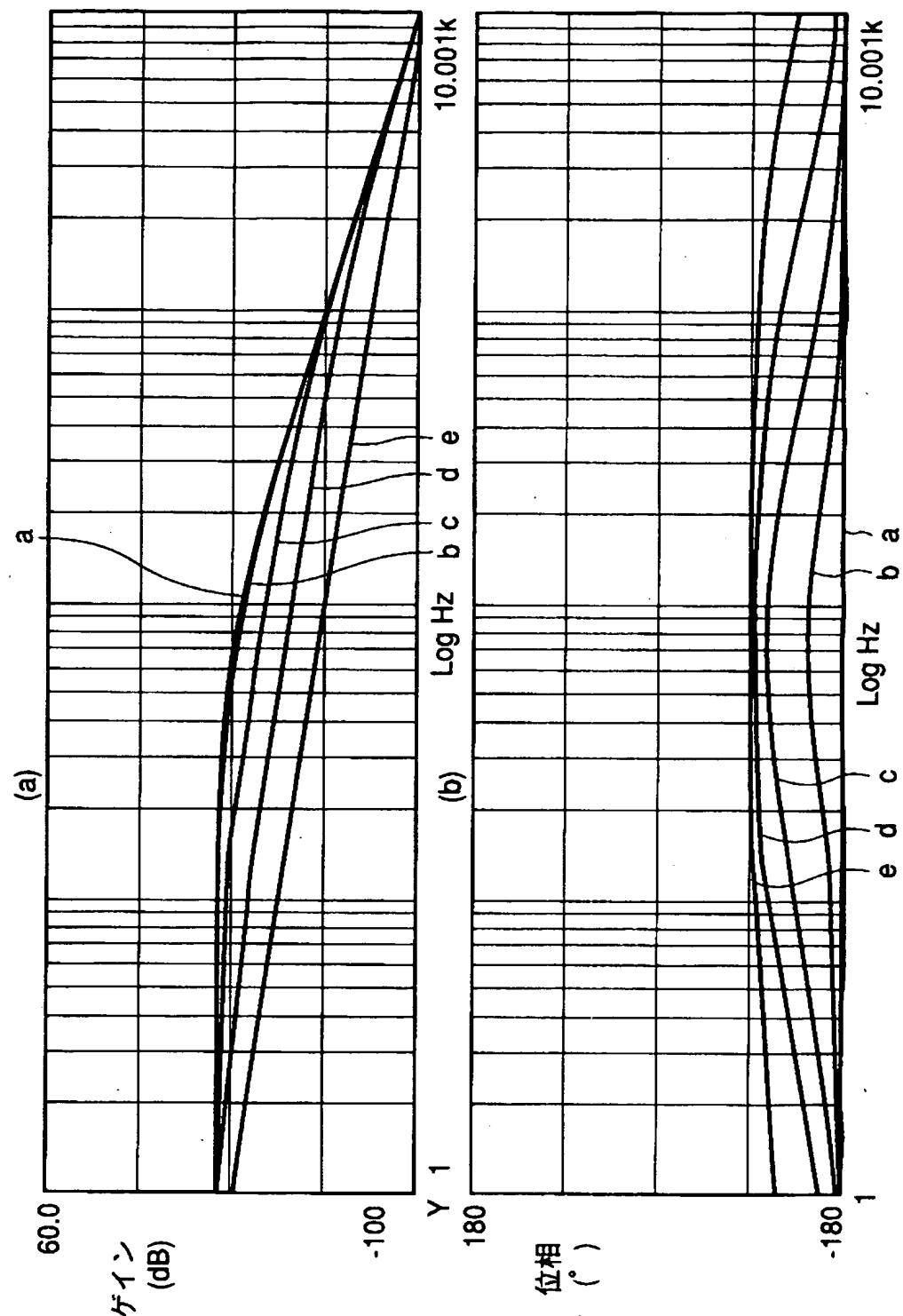
【図6】



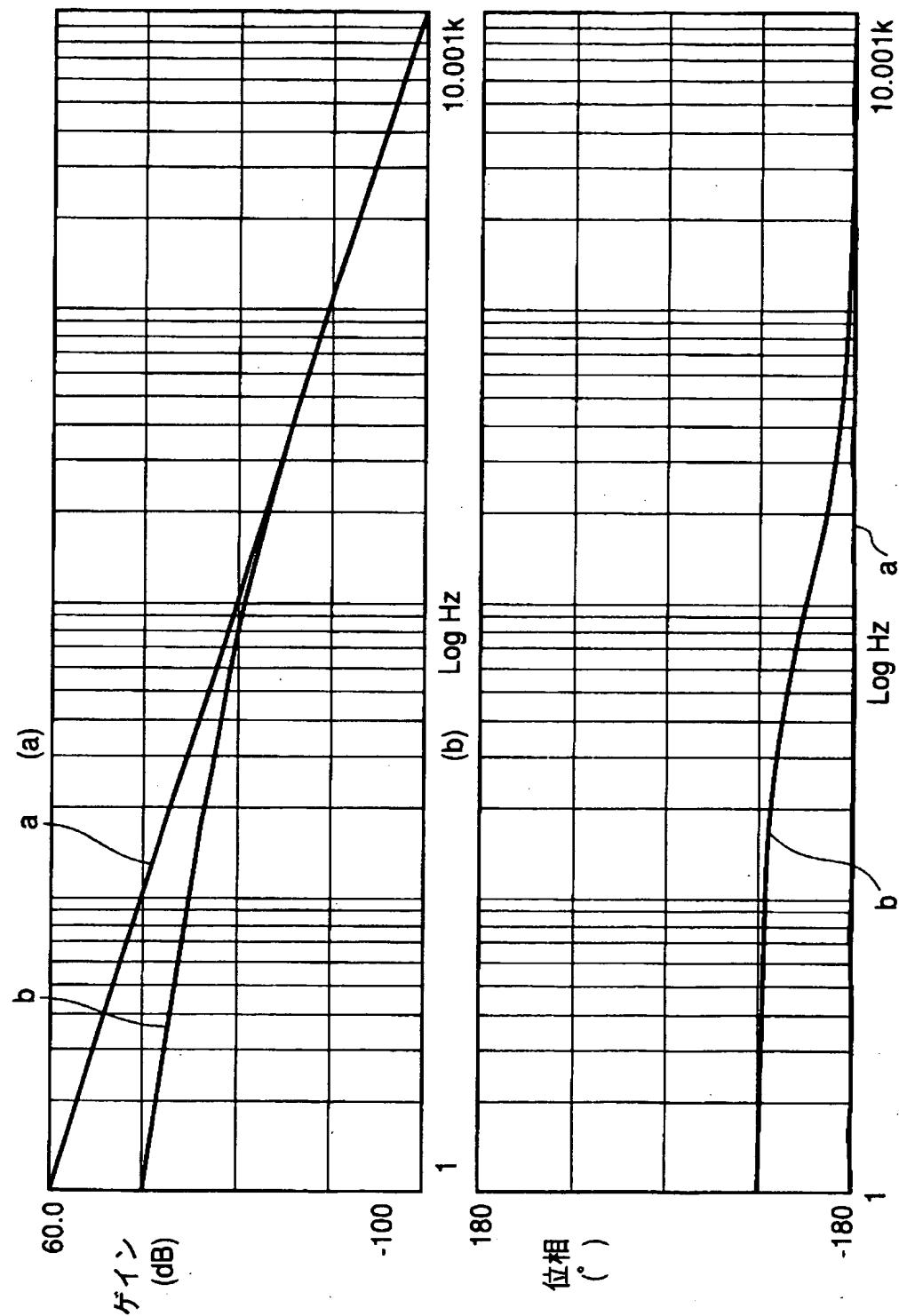
【図7】



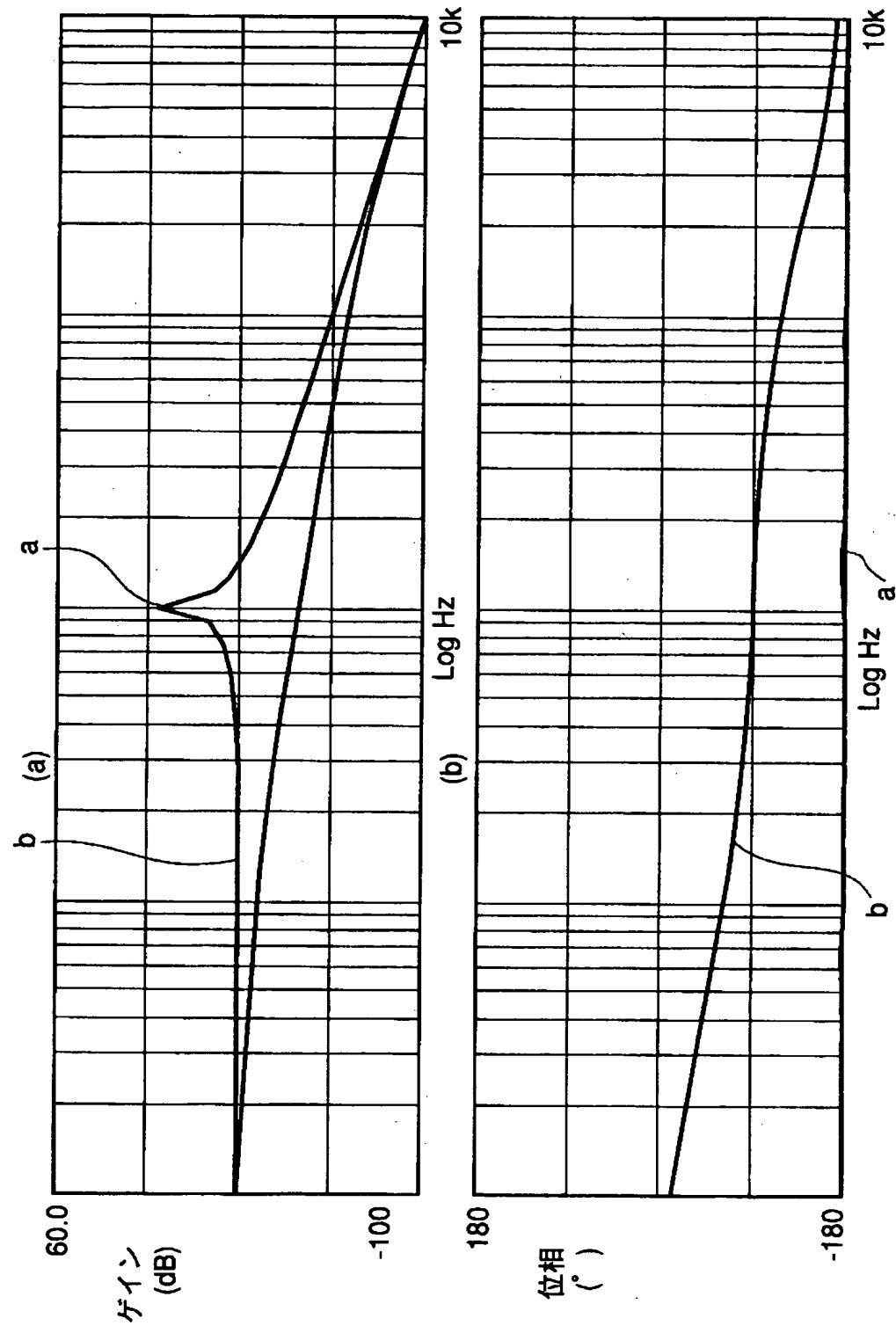
【図8】



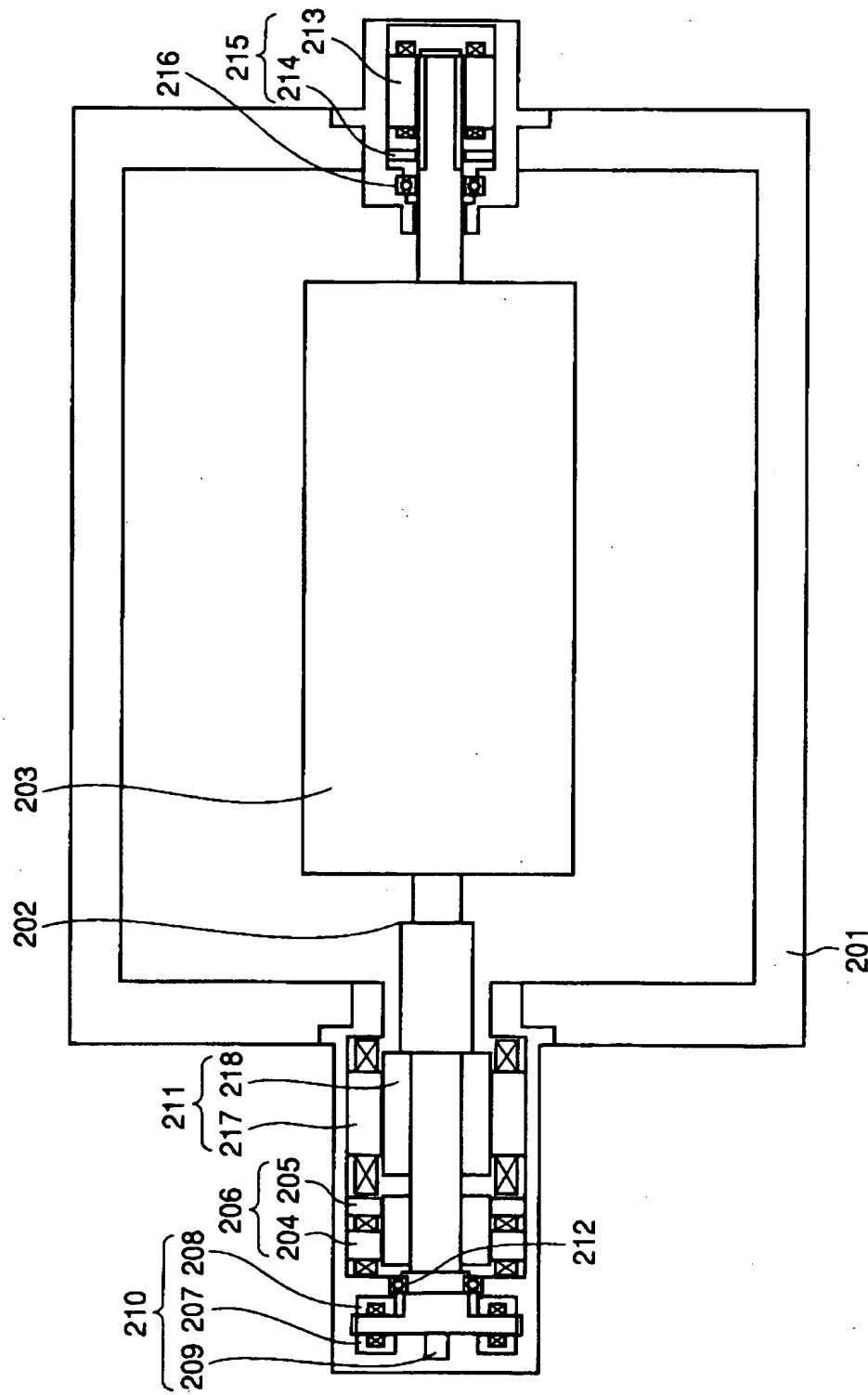
【図9】



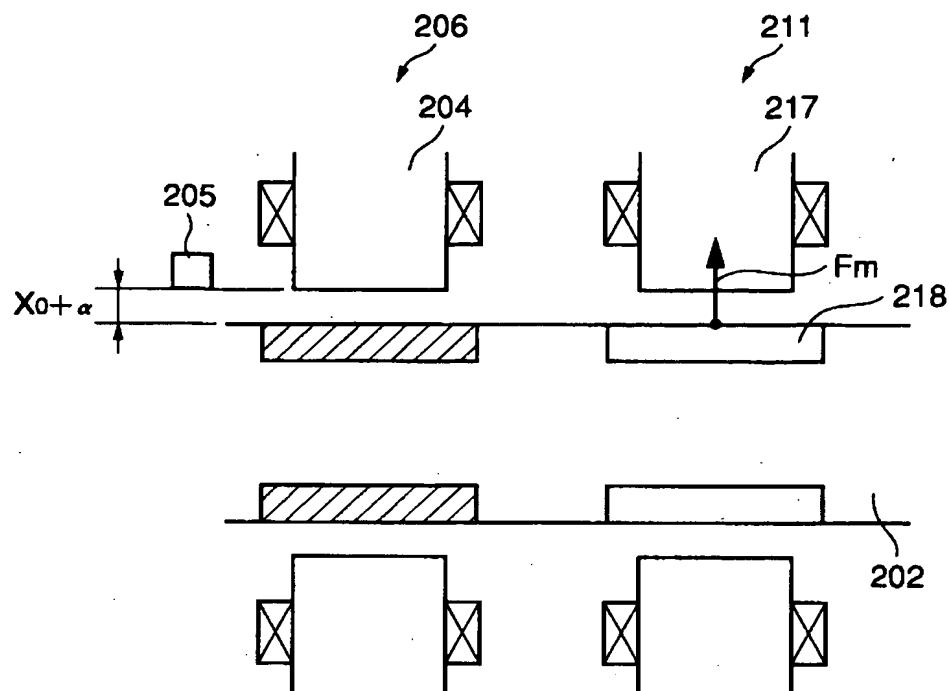
【図10】



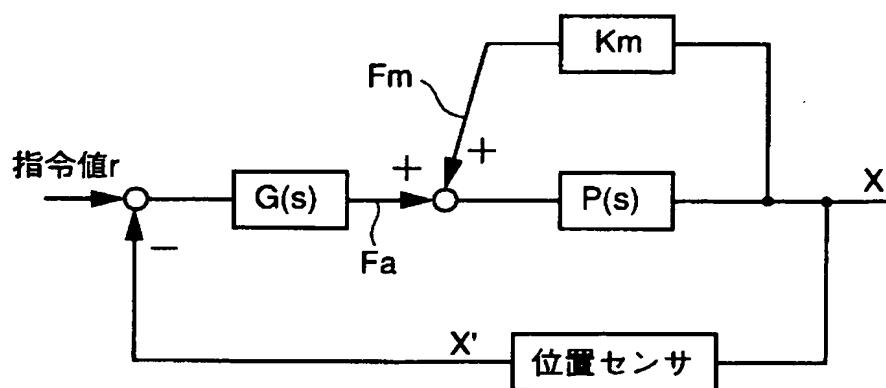
【図 1 1】



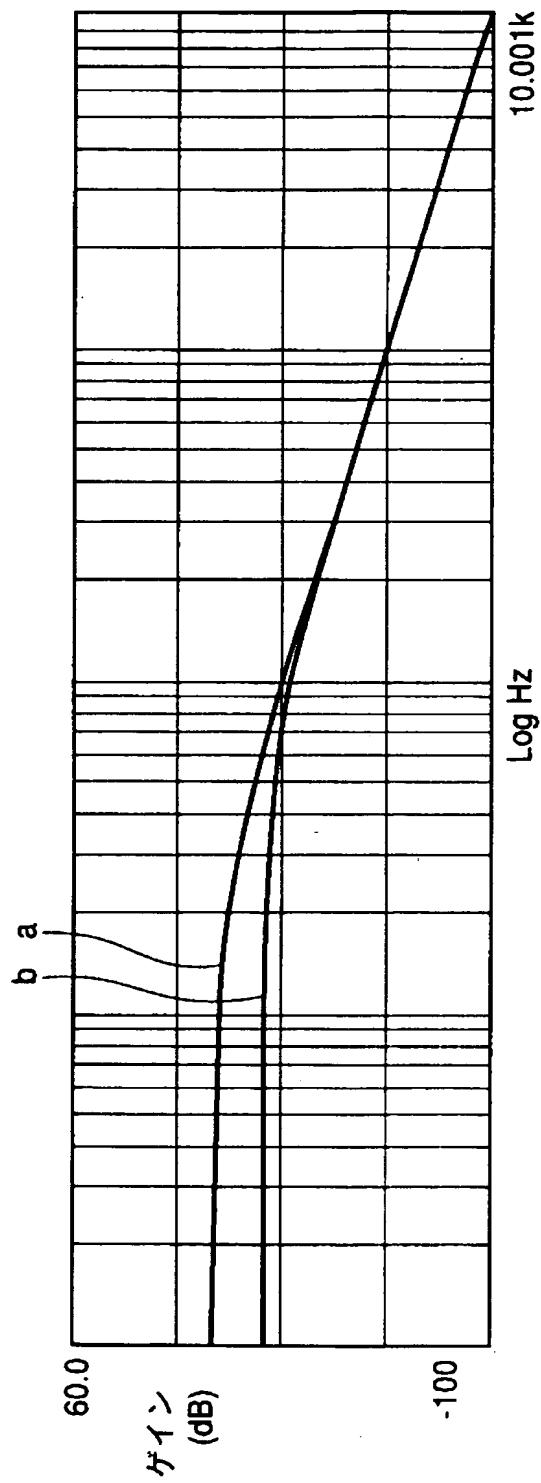
【図12】



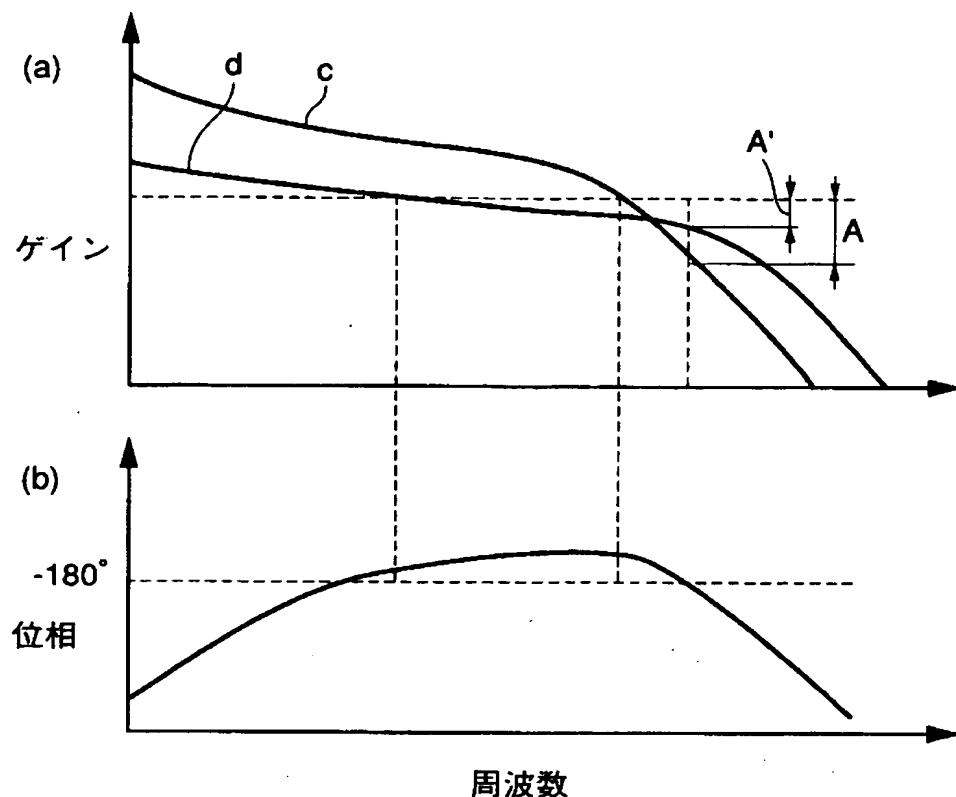
【図13】



【図14】



【図15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 磁気軸受制御の制御安定性の確保が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供する。

【解決手段】 回転軸2を非接触で支持する2つのラジアル磁気軸受101と103とを配置し、これらの近傍に保護軸受11, 15を配置し、モータ側のラジアル磁気軸受101によってモータ104のもつばね要素を補正する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000102692]

1. 変更年月日 1990年 8月23日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
氏 名 エヌティエヌ株式会社